

MANET 환경에서 크로스레이어 디자인을 이용한 TCP 성능 개선에 관한 연구

정희원 남 호 석*, 준희원 이 태 훈*, 도 재 환*, 종신회원 김 준 년*

TCP Performance Improvement Using Cross-Layer Design in MANET Environments

Ho-Seok Nam* *Regular Member*, Tae-Hoon Lee*, Jae-Hwan Do* *Associate Members*,
Jun-Nyun Kim* *Lifelong Member*

요 약

유비쿼터스 센서 네트워크 기술의 발전과 더불어 모바일 노드들 간의 통신에 대한 요구가 증가하고 있다. 기존 TCP를 MANET에 적용하였을 때, 링크의 단절, 경로의 재설정 및 네트워크 파티션 현상이 TCP로 하여금 혼잡으로 인식하게 한다. 그 결과, TCP는 성능저하를 보인다. 본 논문에서는 크로스레이어 디자인을 이용하여 MANET에 적합한 TCP를 설계하고 ns2로 분석하였다.

Key Words : TCP, MANET, Mobile computing, Congestion, Cross-layer

ABSTRACT

With the development of ubiquitous sensor networks, the need for communication among mobile nodes has been increased. When the existing TCP is applied to MANET, link failure, route change and network partition make TCP recognize congestion. As a result, TCP shows a poor performance. In this paper, using cross-layer design a new TCP congestion control algorithm that is suitable for MANET is designed and analyzed with ns2.

I. 서 론

인터넷 이후 새로운 패러다임으로 언제 어디서나 어떠한 기기를 이용하더라도 정보를 교환 할 수 있는 유비쿼터스 센서 네트워크가 부상하고 있다. 또한 기존 IP 기반의 네트워크는 유무선이 혼합된 이종의 네트워크로 구성될 것이다. 현재 전송 계층 프로토콜로 사용되고 있는 TCP는 연결 지향의 신뢰성 있는 서비스를 제공하는 프로토콜로서 인터넷망의 실질적 표준으로 자리 잡았다. 그러나 기존 TCP를 MANET(Mobile Ad-hoc Network)에 적용 시켰을 경우, TCP는 높은 BER(Bit Error Rate)과 잦은

노드의 이동에 의한 링크 단절과 경로의 재설정, 네트워크 파티션 등을 혼잡으로 인식하여 불필요한 혼잡 제어에 의해 성능 저하를 초래한다. 본 논문에서는 이러한 TCP의 문제점을 보완하기위해서 크로스레이어 설계 방법을 이용하여 MANET 환경에 적절한 혼잡 제어 방식을 제안하고자 한다. 링크 계층에서 FER(Frame Error Rate)을 측정한다 뒤 그 정보를 기준으로 혼잡 윈도우 알고리즘을 수정하여 TCP의 성능을 개선하였다. 또한, 재설계된 프로토콜이 적용된 가상 MANET 환경에서 시뮬레이션을 수행하여 제안된 TCP와 기존 TCP의 성능을 비교 분석 하였다.

* 중앙대학교 전자전기공학부 컴퓨터통신 연구실(namoski@wm.cau.ac.kr), (walkure@wm.cau.ac.kr), (dojh@wm.cau.ac.kr), (jnk@cau.ac.kr)
논문번호 : KICS2008-07-303, 접수일자 : 2008년 7월 7일, 최종논문접수일자 : 2008년 9월 1일

II. 무선 환경에서 TCP의 문제점

2.1 TCP의 혼잡제어

혼잡 제어는 혼잡이 발생하기 전에 방지하거나 혼잡이 발생한 후에 제어하는 기술과 기법을 의미한다. TCP의 혼잡 제어 방식은 암시적 신호 방식을 사용하는데 확인 응답 수신 지연을 네트워크 혼잡으로 간주하여 발신지는 전송되는 패킷의 양을 감소시킨다. 이 때 TCP는 송신 패킷의 양을 조절하기 위해서 혼잡 윈도우를 사용한다¹⁾.

TCP는 연결이 설정되면 혼잡 윈도우의 크기를 1 MSS(Maximum Segment Size)로 설정한다. 그 후 전송된 세그먼트에 대한 확인 응답을 수신 할 때마다 윈도우의 크기를 확인응답을 받은 세그먼트 숫자만큼 증가 시킨다. 이 후 혼잡 윈도우의 크기가 *sssthresh*(slow start threshold) 값과 같아지면 TCP는 혼잡 회피 단계로 들어가 하나의 확인 응답을 수신할 때마다 혼잡 윈도우의 크기를 1 MSS 만큼 증가 시킨다. 만약 TCP가 3개의 중복된 확인 응답을 수신하거나 재전송 타이머가 만료 되었을 때는 혼잡 윈도우의 크기를 감소시킨다. 이 때 재전송 타이머가 만료 된 경우는 혼잡 윈도우의 크기를 1 MSS로 설정하고 *sssthresh*의 값을 현재 값의 반으로 설정한다. 중복 된 확인 응답의 경우에는 혼잡 윈도우의 값을 1 MSS이 아닌 현재 값의 반으로 설정한 후 바로 혼잡 회피 단계로 들어간다.

2.2 MANET에서의 TCP

전송채널이 무선인 MANET에서는 유선과 다르게 많은 변수가 존재한다. 무선 링크는 자유공간을 전송채널로 사용하고 있어서 날씨, 건물과 같은 장애물 등과 같은 제어할 수 없는 많은 요소들이 존재한다²⁾¹¹⁾. 또한 무선 노드들은 제한된 라디오 커버리지를 가지고 있으며 노드들의 이동에 의한 빈번한 핸드오프 문제도 발생하게 된다. 따라서 MANET 환경은 높은 BER과 노드들의 이동에 따른 링크의 단절과 경로의 변화, 네트워크 파티션 등의 특징이 나타내게 된다. TCP는 앞에서 언급한 것과 같이 패킷 손실이나 지연된 응답을 모두 네트워크의 혼잡으로 인식하기 때문에 MANET에서 매우 취약한 특성을 가지고 있다.

III. 무선 환경에서의 TCP 성능 개선

무선 환경에서 TCP 성능 개선을 위해 여러 가지 형태의 TCP들이 고안되어졌다.

3.1 어플리케이션 관점

3.1.1 I-TCP(Indirect-TCP)

I-TCP는 분할 연결 모델에서 가장 초창기에 사용되어진 것 중의 하나이다³⁾. 분할 연결 모델은 크게 2가지 하부 연결을 갖는데 하나는 고정된 호스트와 기지국 간의 TCP 연결이고, 다른 하나는 기지국과 모바일 노드간의 연결이다. 이것은 무선 링크에서 에러가 발생했을 때 TCP의 단대단 재전송 대신에 중간 기지국이 재전송을 대신해주기 때문에, 무선 링크의 에러에 대해서 송신지의 TCP가 보호 받을 수 있다.

3.1.2 ATCP(TCP for mobile Ad-hoc networks)

기존의 TCP에서 문제가 되었던 것은 BER, 링크의 단절 그리고 혼잡에 의한 에러를 모두 혼잡으로 처리하는 것이다. ATCP는 중간 노드의 피드백 정보를 통해 송신측의 TCP가 에러 원인에 따라 지속 상태, 혼잡 제어 상태 또는 재전송 상태로 대처할 수 있게 한다⁴⁾. 지속 상태는 링크가 단절되었을 때 재전송을 방지하고, 혼잡 제어 상태는 일반적인 혼잡제어 단계이며, 재전송 상태는 BER에 의해 손상된 패킷을 재전송하는 상태이다. 이를 위해 ATCP는 기존의 TCP를 수정하지 않고, TCP 와 IP사이에 ATCP라는 이름의 계층을 삽입하였다. 이 계층은 ECN(Explicit Congestion Notification) 메시지와 ICMP의 목적지 도달불가 메시지를 수신하여 네트워크 상태를 파악하고, 송신측의 TCP를 적절한 상태로 만든다.

3.2 프로액티브 혼잡 제어

프로액티브 혼잡제어에서 송신측은 네트워크 상태를 나타내주는 정보를 피드백 받아서 그에 따라 *cwnd*를 최적화 할 수 있다. 따라서 프로액티브 혼잡 제어 방식을 사용하면, 네트워크 상태나 패킷 손실의 원인에 따라 현명하게 대처할 수 있다.

3.2.1 TCP-Vegas

TCP-Vegas는 병목현상을 일으키는 링크의 버퍼 안에 저장된 패킷들을 평가하는 방식을 사용한다⁵⁾. TCP-Vegas는 네트워크가 수용할 수 있는 최적의 throughput을 참조하여 최소의 RTT를 설정하고 송신측에서 데이터를 전송하는 동안 실제로 사용하는 throughput을 기록하여 병목현상을 일으키는 링크에서 둘을 비교한다. 병목현상을 일으키는 링크에서 저장된 패킷들의 수가 적으면 송신측의 *cwnd*를 증가시키고, 반대의 경우에는 *cwnd*를 선형적으로 감소시킨다.

3.2.2 TCP-Veno

TCP-Veno는 TCP-Vegas와 같이 링크의 버퍼 안에 저장된 패킷들을 평가한다⁶⁾. 만약 저장된 패킷의 양이 임계치보다 적을 경우 발생하는 패킷 손실은 혼잡에 의한 손실이 아니라 BER로 판단하고, 임계치보다 많을 경우는 혼잡으로 판단한다. 따라서 무선 환경에서 문제점 중 하나인 BER과 혼잡에 의한 에러를 구분하지 못하는 것을 해결할 수 있다.

3.2.3 TCP-Westwood

TCP-Westwood에서 송신측은 돌아오는 ACK의 평균적인 비율을 측정하고, 이용 가능한 네트워크의 대역폭을 역동적으로 계산할 수 있다⁷⁾. TCP-Westwood는 돌아오는 ACK의 주기를 측정한 것을 기초로, 송신측에 이용 가능한 대역폭 측정하는 모듈을 설치한다. 이 모듈은 이용 가능한 대역폭을 정확히 측정하여 송신측에서 전송률을 결정하는데 참조하게 한다.

IV. 크로스레이어 디자인

본 논문에서는 MANET에서 TCP의 문제점을 보완하기 위해서 크로스레이어 설계 방법을 사용하였다. 기존 계층 구조는 구성이 간단하고, 표준화하기 쉽고 업그레이드하기 용이한 장점을 가지고 있지만 무선 환경에서 사용하기에는 적합하지 않다. 이런 계층 구조의 단점을 극복하기 위해 도입된 개념이 크로스레이어이다.

4.1 크로스레이어

크로스레이어는 그림 1과 같이 각 계층 간의 상호 정보 교환을 통해 하위 또는 상위 계층의 정보를 공유할 수 있다⁸⁾⁹⁾. 따라서 각 계층은 정보 교환을 통해 네트워크의 변화하는 상황에 적절한 대처를 할 수 있게 된다. 반면에 크로스레이어는 각 프로토콜의 수정이 다른 모든 계층에 영향을 미치기 때문에 자칫 스파게티 코드를 발생할 수 있는 문제점을 가지고 있으며 이에 따라 개발의 효율성이 떨어질 수 있다는 단점을 가지고 있다.

링크 계층의 FER을 측정하기 위해 IEEE 802.11 MAC을 사용하였다. IEEE 802.11 MAC 프레임의 전송 과정에서 우선 발신지는 RTS(Request To Send) 메시지를 통해 전송을 하겠다는 뜻을 목적지에 알리고, 목적지는 CTS(Clear To Send) 메시지를 통해 전송을 허락한다. CTS 메시지를 받은 발신지는 자신의 데이터를 보내고 목적지는 받은 데이터

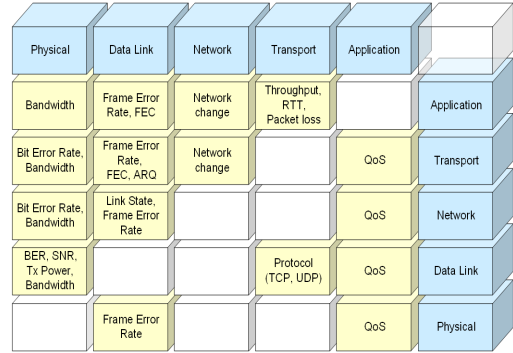


그림 1. 크로스레이어 디자인

가 올바르게 전송이 되었다면 ACK 메시지를 발신지에 전송하게 된다. 본 논문에서는 이러한 전송 방식을 통해 주기적으로 링크의 FER을 측정한다. 측정된 FER은 링크의 상태를 나타내는 파라미터가 된다. FER은 다음과 같이 결정한다.

$$FER = 1 - \frac{\#ACKs}{\#CTSs}$$

#ACKs는 발신지가 받은 ACK 메시지의 수이고, #CTSs는 발신지가 받은 CTS 메시지의 수이다.

4.2 크로스레이어 어시스턴트

MANET에서 TCP 성능 향상을 위해 그림 2와 같이 각 노드에 독립적으로 존재하는 크로스레이어 어시스턴트를 설계하였다¹⁰⁾. 상하 방향은 기존의 엄격한 계층 간의 동작을 의미하며, 좌우 방향은 새롭게 설계된 크로스레이어 동작을 의미한다. 크로스레이어 어시스턴트는 각 계층의 중요한 파라미터를 테이블 형태로 저장한다. 크로스레이어 어시스턴트

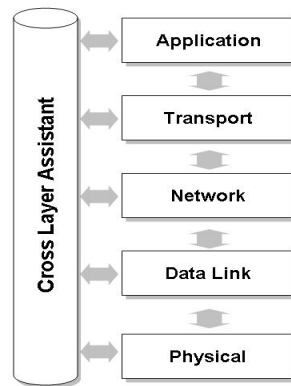


그림 2. 크로스레이어 어시스턴트

는 향후 확장을 위해 물리계층에서 노드의 에너지 정보와 대역폭, 데이터 링크 계층에서의 FER, 네트워크 계층에서의 라우팅 정보를 실시간으로 유지 및 관리한다. 크로스레이어 어시스턴트는 기존 OSI 계층구조의 모듈성을 파괴하지 않고 계층구조를 갖는 노드와 시스템 호환성을 보장하도록 설계하였다.

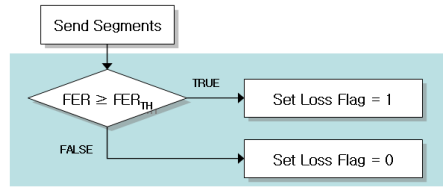
4.3 TCP 프로토콜 디자인

MANET에서 TCP 성능개선을 위해서 프로토콜을 재설계를 하였다. 크로스레이어를 도입한 TCP는 다른 계층의 상태정보를 알 수 있기 때문에 네트워크의 변화에 맞춰 적절한 동작을 하도록 설계하였다.

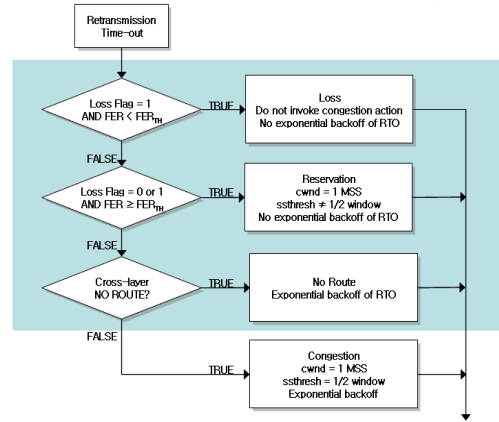
그림 3은 새롭게 설계된 TCP의 혼잡제어 알고리즘을 나타낸다. 그림 3 (a)와 같이 TCP는 세그먼트 전송 시 크로스레이어 어시스턴트를 통해서 현재 링크의 상태를 파악한다. FER이 FER_{TH} 보다 크면 현재 전송되는 세그먼트는 손실 될 가능성이 크므로 손실 플래그를 1로 설정해 놓는다. 손실 플래그는 새로운 ACK를 받으면 다시 0으로 설정된다.

그림 3(b)와 같이 재전송 타임아웃이 발생하면 TCP는 현재의 링크 상태와 손실 플래그를 비교해서 다음과 같은 알고리즘을 수행한다. 손실 플래그가 1로 설정되어 있고 현재의 링크 상태가 양호한 경우, 손실의 가능성이 크므로 혼잡제어 알고리즘을 수행하지 않으며 동시에 재전송 타이머를 지속적으로 증가시키지 않는다. 현재 링크 상태가 양호하지 않은 상태에서 재전송 타임아웃이 발생하게 되면 혼잡과 손실을 구분하기 모호하므로 새롭게 정의한 보류 상태로 설정된다. 이 경우는 현재 링크 상태가 양호하지 않기 때문에 윈도우 크기를 1 MSS로 줄이지만 재전송 타이머의 시간을 지속적으로 증가시키지 않고 또한 ssthresh를 반으로 줄이지는 않는다. 크로스레이어 어시스턴트에서 경로 정보가 없을 경우에는 발신지와 목적지 사이의 경로가 없는 경우이므로 경로가 설정을 기다리기 위해서 재전송 타이머는 지속적으로 증가하지만 윈도우 크기는 줄이지 않는다. 그 외의 경우에는 일반적인 TCP의 혼잡제어 알고리즘을 수행한다.

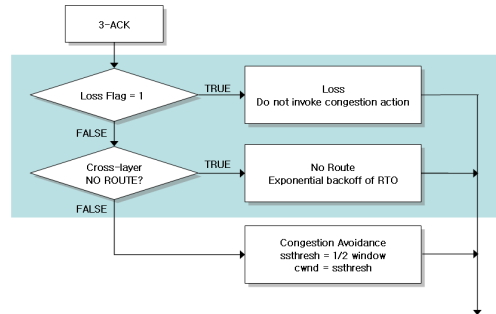
그림 3(c)에서와 같이 3-ACK 가 발생하면 다음과 같은 알고리즘을 수행한다. 손실 플래그가 1로 설정되어 있고 ACK를 받았다는 것은 현재의 링크 상태가 양호하므로 손실로 취급하고 혼잡제어 알고리즘을 수행하지 않는다. 나머지 경우에는 재전송 타임아웃에서 언급한 것과 같은 동일한 알고리즘을 수행한다.



(a) 손실 플래그 설정



(b) 재전송 타임아웃



(c) 3-ACK 발생

그림 3. TCP 프로토콜 디자인 알고리즘

V. TCP 성능 분석

5.1 FER에 따른 TCP 성능 개선

본 논문에서 설계된 크로스레이어 어시스턴트 및 TCP 프로토콜 재설계로 인한 개선 사항을 평가하기 위해서 그림 4와 같이 두 개의 노드 사이에 무선 링크를 가정하여 FER에 따른 에러 모델을 삽입하였다. FTP를 이용하여 IEEE 802.11 MAC을 통해 10Mbyte의 파일을 FTP로 전송한다고 가정하였다. 시뮬레이션 시간은 500초이며 라우팅 프로토콜은 AODV를 사용하였다.

그림 5는 FER에 따른 TCP의 throughput을 측정

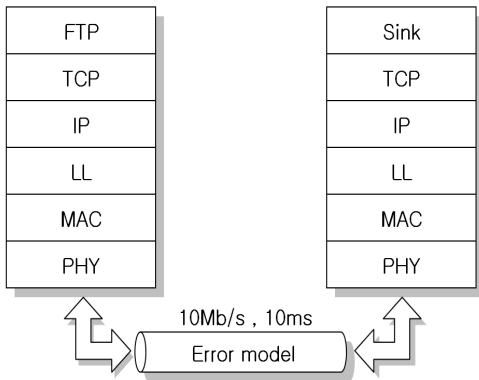


그림 4. FER에 따른 성능 분석 모델

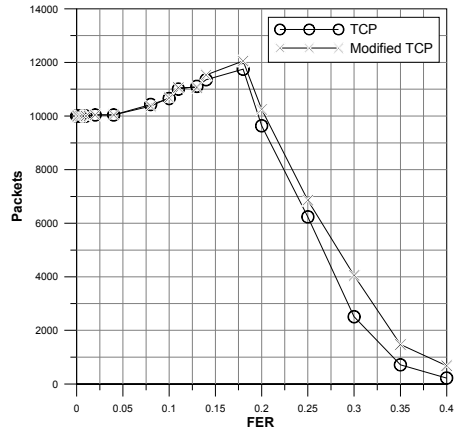


그림 5. FER에 따른 TCP throughput

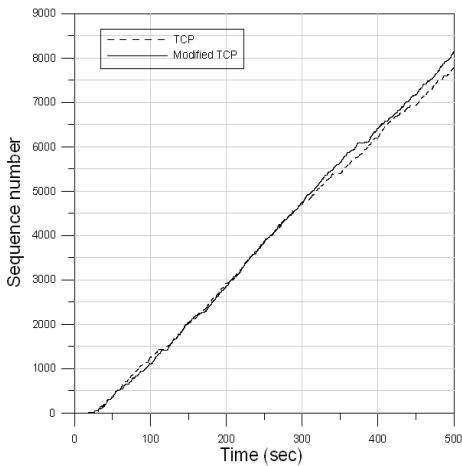


그림 6. 순서번호 (FER = 0.2)

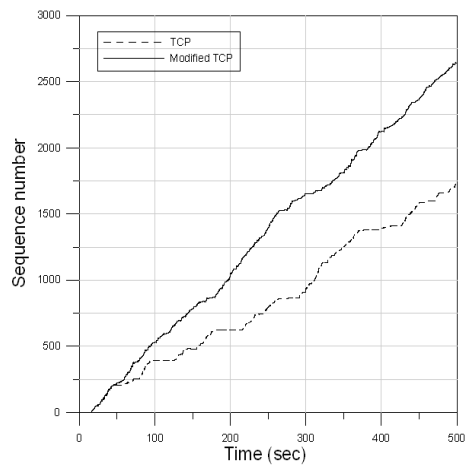


그림 7. 순서번호 (FER = 0.3)

한 것으로 재설계된 TCP의 throughput의 성능 개선이 이루어 졌음을 확인할 수 있다.

그림 6~그림 7은 FER이 각각 0.2, 0.3 일 때 순서번호의 증가를 나타낸다. 크로스레이어 개념으로 설계된 TCP는 채널 에러율이 높은 무선 환경에서 기존의 TCP보다 성능 개선이 이루어 졌음을 확인할 수 있다. 그림 8은 FER에 따른 각각의 혼잡 윈도우 크기를 나타낸 것으로 기존의 TCP가 혼잡과 손실을 구분하지 못하고 윈도우 크기를 줄이는데 비해서 개선된 TCP의 윈도우 크기는 앞에서 언급한 손실, 보류, 혼잡에 대하여 서로 다른 알고리즘을 수행한 결과이다.

5.2 링크 단절과 경로 재설정에 의한 TCP 성능개선
MANET에서 네트워크 파티션 및 다중경로에 따

른 설계된 TCP의 성능 평가를 위해서 그림 9와 같이 물리적 크기가 500m×1000m 환경에서 10개의 노드가 정지시간 0, 10초에 대한 시나리오 파일을 작성해서 2000초 동안 시뮬레이션을 수행하였다. 각 노드의 최소속도는 0.5m/s 이고 최대속도는 10m/s로 설정하였다. 시뮬레이션 수행 시간 동안 각 노드는 일대일 대응관계에 의해 임의의 시간에 90번의 TCP 연결을 설정하였으며 10Mbyte의 파일을 FTP로 전송한다고 가정하였다. 물리적 크기를 500m×1000m으로 설정한 것은 의도적으로 잦은 링크의 단절과 네트워크 토폴로지의 변화를 주기위해서 선택하였다. 그림 10은 무선 환경에서 TCP의 문제점을 해결하기 위해 도입된 ECN을 적용한 TCP와 설계된 TCP의 throughput을 비교한 것이다. 일부 노드에서는 보류 동작으로 인한 약간의 성능

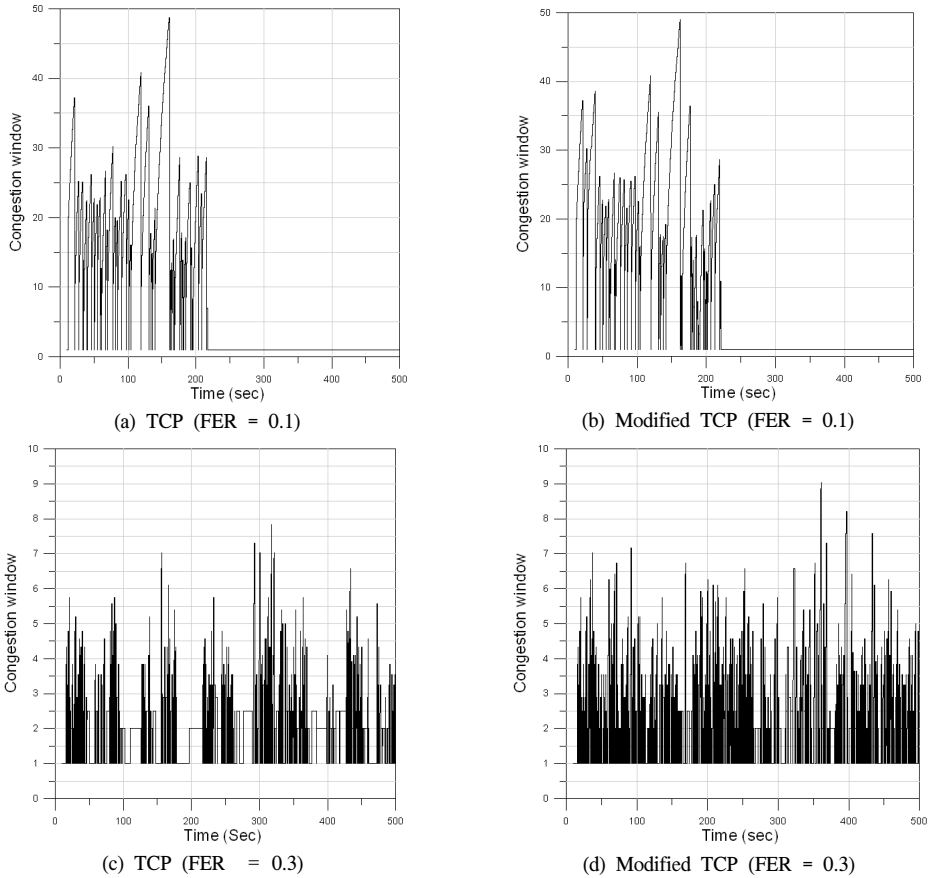


그림 8. 혼잡 윈도우 비교

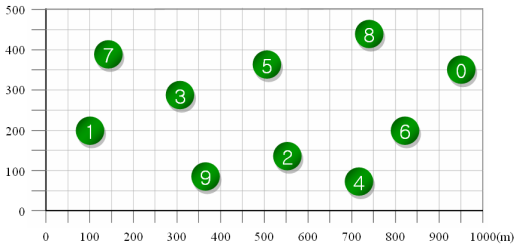


그림 9. 네트워크 파티션 및 다중경로 시뮬레이션 모델

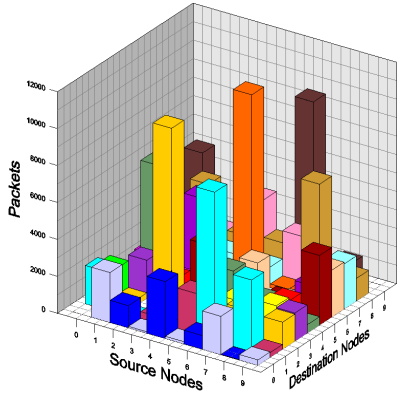
저하가 발생하였으나, 전체적으로 설계 된 TCP가 혼잡, 손실, 경로 없음의 구분을 통해서 ECN을 적용한 TCP와 대등한 성능 향상을 구현할 수 있었다.

VI. 결 론

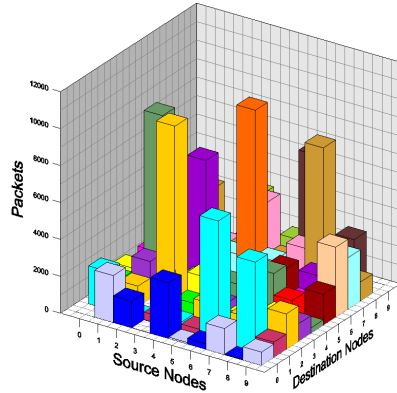
MANET에서 유선 기반 통신망을 기준으로 설계 된 기존의 TCP 프로토콜을 사용하였을 경우 불필

요한 혼잡 제어 알고리즘으로 인해 성능이 저하된다. 본 논문에서는 크로스레이어 기법을 도입하여 크로스레이어 어시스턴트가 각 계층에서 필요한 정보를 유지 및 관리하도록 설계함으로써 무선 대역폭의 낭비를 방지하였다. IEEE 802.11 MAC에 에러 모델을 삽입한 시뮬레이션 결과, 기존 TCP에 비해서 에러율의 증가에 따라 throughput이 향상되는 것을 확인하였다. 혼잡 윈도우의 크기 역시 기존 TCP에 비해서 증가된 수치를 보였다. 또한 라우팅 테이블을 참조해서 경로가 존재하지 않을 때 불필요하게 혼잡 윈도우의 크기를 줄이지 않으므로써 전체적인 throughput 향상을 도모하였다.

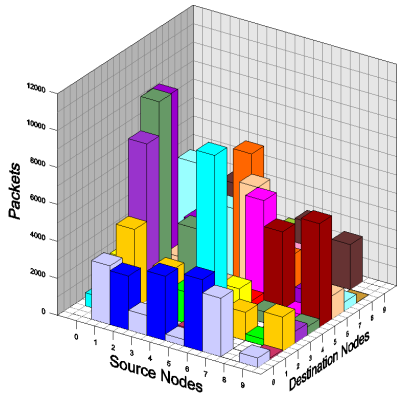
크로스레이어 디자인 설계 결과, 계층 간의 정보를 공유함으로써 많은 프로토콜 설계 시에 전체적인 시스템 디자인이 복잡해질 수 있으나 다양한 장점을 부여한다. 효율적인 유비쿼터스 센서 네트워크 시스템을 구축하기 위해서는 크로스레이어 디자인 방법에 대한 표준화 또한 필요하다. 또한 응용계층



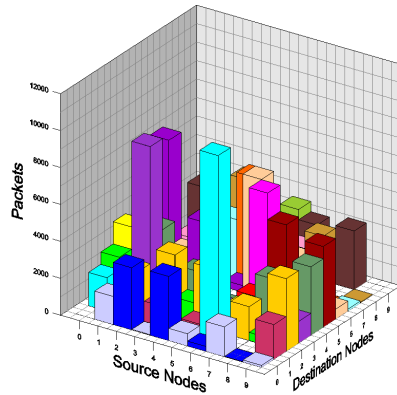
(a) ECN을 적용한 TCP(정지시간 0초)



(b) 설계된 TCP (정지시간 0초)



(c) ECN을 적용한 TCP(정지시간 10초)



(d) 설계된 TCP (정지시간 10초)

그림 10. throughput 비교

에서의 QoS, 트랜스포트 계층에서의 TCP/UDP와 같은 프로토콜 정보, 또한 물리계층의 대역폭 정보를 고려한 접근 방법과 센서 네트워크의 특성이 갖는 효율적인 에너지 관리 방법에 대해서 많은 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Behrouz A. Forouzan, *TCP/IP Protocol Suite 3rd edition*, McGRAW-Hill pp.278-344.
 [2] Jian Liu, Suresh Singh, "ATCP: TCP for mobile ad hoc networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on Volume 19*, Issue 7, July 2001 pp.1300-1315.
 [3] Ye Tian, Kai Xu, Nirwan Ansari, "TCP in wireless environments: problems and solutions,"

Communications Magazine, IEEE Volume 43, Issue 3, March 2005 pp. S27 - S32

[4] A. Bakre and B. R. Badrinath, "I-TCP: Indirect TCP for mobile hosts," in *Proc. 15th Int. Conf. Distributed Computing Systems*, Vancouver, BC, Canada, June 1995, pp.136-143.
 [5] L. Brakmo and L. Peterson, "TCP Vegas: End to End Congestion Avoidance on a Global Internet," *IEEE JSAC*, Vol.13, No.8, October 1995, pp.1465-1480.
 [6] C. P. Fu and S. C. Liew, "TCP Ven0: TCP Enhancement for Transmission over Wireless Networks," *IEEE JSAC*, Vol.21, No.2, February 2004, pp.216-218.
 [7] C. Casetti et al., "TCP Westwood: Bandwidth Estimation for Enhanced Transport over

Wireless Links,” *ACM Mobicom*, July 2001, pp.287-297.

[8] M. Conti, and al. “Cross-Layering in Mobile Ad Hoc Network Design,” Publ-ished by the IEEE Computer Society, February 2004.

[9] Ning Yang, Ravi Sankar, & Jungsik Lee, “Improving Ad Hoc Network Performance Using Cross-Layer Information Processing,” *2005 IEEE International Conference*, 16-20 May 2005 pp. 2764-2768 Vol.4.

[10] S. Shokkottai, T.S. Pappaprot & P. C. Karlsson, “Cross-Layer Design for Wireless Networks,” *IEEE Communications Magazine*, October 2003.

[11] 남호석, 조 술, 이태훈, 김준년, “모바일 ad-hoc 네트워크에서 TCP 성능분석,” *한국통신학회논문지*, 제32권 12호, 2007.12, pp.800-808.

남 호 석 (Ho-Seok Nam)

정회원



1993년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업
 1995년 2월 중앙대학교 전자공학과 석사
 1995년 2월~2000년 국방과학연구소 4체계 연구부
 2008년 8월 중앙대학교 전자전기공학부 박사

<관심분야> 무선통신, ITS, USN

이 태 훈 (Tae-Hoon Lee)

준회원



2007년 2월 중앙대학교 전자전기공학부 졸업
 2007년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정
 <관심분야> 센서네트워크, USN

도 재 환 (Jae-Hwan Do)

준회원



2008년 2월 서울산업대학교 전자정보공학과 졸업
 2008년 3월~현재 중앙대학교 전자전기공학부 석사과정
 <관심분야> 센서네트워크, USN, ITS

김 준 년 (Jun-Nyun Kim)

중신회원



1988년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수
 2000년~2006년 ISO/IEC JTC 1/SC 6 Chairman
 2002년 개방형 컴퓨터 통신 연구 (OSIA) 회장
 2004년~2005년 한국통신학회 학술이사

<관심분야> 컴퓨터네트워크, USN